

Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte

Band: 57/1/57/2 (1989)

Artikel: Ermüdungsbemessung im Spannbetonbau

Autor: König, Gert / Sturm, Roland

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-44255>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ermüdungsbemessung im Spannbetonbau

Fatigue Design of Prestressed Concrete Members

Dimensionnement à la fatigue de constructions en béton précontraint

Gert KÖNIG
Prof. Dr.-Ing.
Technische Hochschule
Darmstadt, BR Deutschland



Geboren 1934, Studium des Bauingenieurwesens an der TH Darmstadt, 1960 Diplom. Seit 1971 Beratender Ingenieur VBI, seit 1972 Prüfingenieur für Baustatik, 1975 Berufung an die Technische Hochschule Darmstadt.

Roland STURM
Dipl.-Ing.
Technische Hochschule
Darmstadt, BR Deutschland



Geboren 1954, Studium des Bauingenieurwesens an der TH Darmstadt, 1981 Diplom. Bis 1985 Mitarbeiter in der Techn. Abteilung einer Baufirma, anschliessend wissenschaftl. Assistent bei Prof. König.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag erläutert einige Aspekte, die bei teilweise vorgespannten Konstruktionen hinsichtlich der Ermüdung berücksichtigt werden müssen. Weiterhin wird das für den MC 90 vorgeschlagene Konzept für die Ermüdungsbemessung vorgestellt.

SUMMARY

Some aspects concerning the fatigue behaviour of partially prestressed members are briefly described. The concept of fatigue design proposed for MC 90 is introduced.

RÉSUMÉ

L'article présente quelques phénomènes de fatigue dans le béton partiellement précontraint. Le concept de dimensionnement à la fatigue pour le code MC 90 est présenté.



1. EINLEITUNG

In der Vergangenheit wurde bei der Bemessung von vorgespannten Konstruktionen der Ermüdung nur wenig Bedeutung beigemessen, da der Vorspanngrad in der Regel so gewählt wurde, daß die Konstruktion im Zustand I verbleibt. Eine Ermüdungsbemessung wurde lediglich für die Verankerungen und Kopplungen der Spannglieder für notwendig erachtet, da an diesen Stellen die Ermüdungsfestigkeit deutlich abfällt gegenüber derjenigen des Spannglieds auf freier Strecke.

Untersuchungen in den letzten Jahren zeigten jedoch, daß nicht nur Verankerungen und Kopplungen ermüdungsgefährdet sein können, sondern auch die Spannglieder selbst.

Dieser Beitrag erläutert in kurzer Form zunächst einige Aspekte, die insbesondere bei teilweise vorgespannten Konstruktionen zu berücksichtigen sind. Anschließend erfolgt eine kurze Beschreibung des für den MC 90 vorgeschlagenen Nachweiskonzeptes.

2. EINFLUSS DES VORSPANNGRADES AUF DIE ERMÜDUNGSBEANSPRUCHUNG

Der prinzipielle Zusammenhang zwischen Vorspanngrad und Ermüdungsbeanspruchung ist in Bild 1 dargestellt. Es verdeutlicht, daß bei vorgespannten Konstruktionen, die unter Gebrauchslasten den Zustand II erreichen, die Schwingbreite der Spannungen deutlich größer wird als bei solchen Konstruktionen die im Zustand I verbleiben.

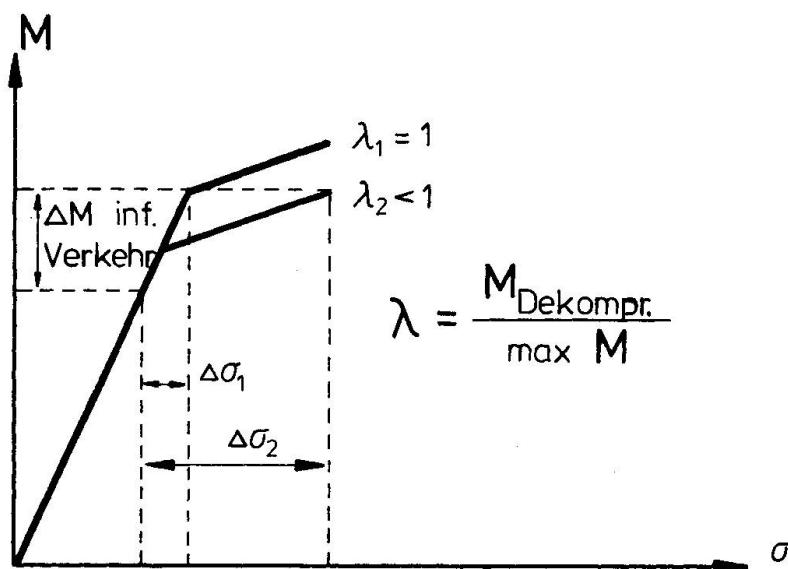


Bild 1: Zusammenhang zwischen Vorspanngrad λ und Ermüdungsbeanspruchung

Dies ist jedoch nicht nur bei planmäßiger teilweiser Vorspannung der Fall. Viele Konstruktionen die nach den Regeln der beschränkten oder vollen Vorspannung bemessen wurden, weisen infolge falscher Einschätzung der Temperatureinflüsse, der Eigenspannungen oder der Setzungen Risse auf.

3. REIBKORROSION

Das Ermüdungsverhalten von Spanngliedern in teilweise vorgespannten Konstruktionen wurde in den letzten Jahren im Rahmen mehrerer Forschungsvorhaben untersucht (1), (2), (3). Die Ergebnisse zeigen eindeutig, daß die Ermüdungsfestigkeit durch Reibkorrosion deutlich reduziert wird. Reibkorrosion kann an solchen Stellen auftreten, wo zwei metallische Partner hohem Querdruck ausgesetzt sind und sich relativ zueinander bewegen.

In teilweise vorgespannten Konstruktionen bilden Spannstahl und metallisches Hüllrohr die beiden Partner, der hohe Querdruck entsteht in den Bereichen mit großen Spanngliedkrümmungen. Die Relativbewegung erfolgt durch das Öffnen und Schließen der Risse in diesen Bereichen.

Die Versuchsergebnisse (Tabelle 1) zeigen, daß Reibkorrosion die Ermüdungsfestigkeit bis zu 50% reduzieren kann.

Spannstahlsorte	Dauerschwingfestigkeit für $\sigma_0 = 0,55 \cdot \beta_s$			bezogene Dauerschwingfestigkeit	zulässige Schwingbreite nach DIN 4227 Teil 2
	nach Zulassung	nach Versuchen mit freien Proben	Reibdauerbeanspruchung		
	$2 \cdot \sigma_{aZ}$	$2 \cdot \sigma_{aF}$	$2 \cdot \sigma_{aR}$		
1	2	3	4	5	6
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[N/mm ²]
St 1080/1230; ø26,5 mm rund, gerippt	240	285	Mü: 200 Aa: -	0,70	96
St 1420/1570; ø12,2 mm vergütet, rund, glatt	340	390	Mü: 175 Aa: 170	0,44	136
St 1470/1670; ø7,0 mm kaltgezogen, rund, glatt	585	350	Mü: - Aa: 160	- 0,46	140
St 1570/1770; ø15,8 mm Spannstahllitze	260	250	Mü: 150 Aa: 170	0,64	104

Mü: Ergebnisse von Versuchen an der TU München

Aa: Ergebnisse von Versuchen an der RWTH Aachen

Tabelle 1: Versuchsergebnisse (1), (2)

In einigen Versuchen (3) wurden anstatt der üblichen metallischen Hüllrohre, Kunststoffhüllrohre verwendet, wodurch das Ermüdungsverhalten deutlich verbessert werden konnte.



4. SPANNUNGSUMLAGERUNG BEI GEMISCHTER BEWEHRUNG

Üblicherweise werden die Spannungen in einem gerissenen Querschnitt mit der Annahme ermittelt, daß die Dehnungen sich proportional zum Abstand von der Nulllinie verhalten. Dies trifft bei gemischter Bewehrung in der Regel nicht zu. Der Spannstahl mit seinen meist schlechten Verbundeigenschaften erfährt im Riss geringere Dehnungen als ein auf gleicher Höhe liegender Betonstabstahl (Bild 2).

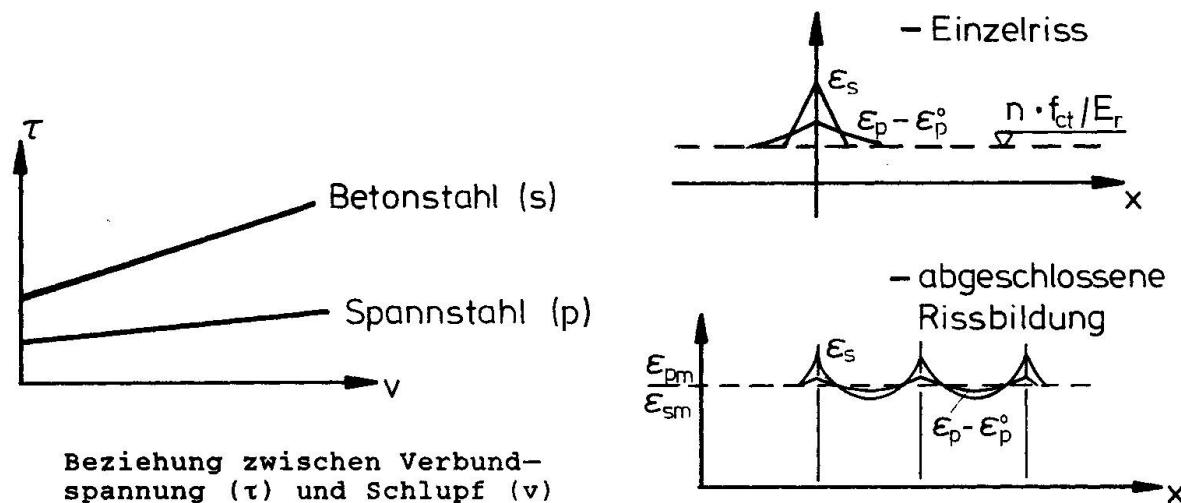


Bild 2: Zusammenwirkung von Betonstabstahl und Spannstahl bei Rissbildung (4)

Bei teilweiser Vorspannung können die tatsächlich auftretenden Spannungen wie folgt ermittelt werden:

Zunächst muß die gesamte Zuggurkraft Z_G im Schwerpunkt der Stahleinlagen bestimmt werden, wobei die Betonzugfestigkeit zu vernachlässigen ist (Bild 3).

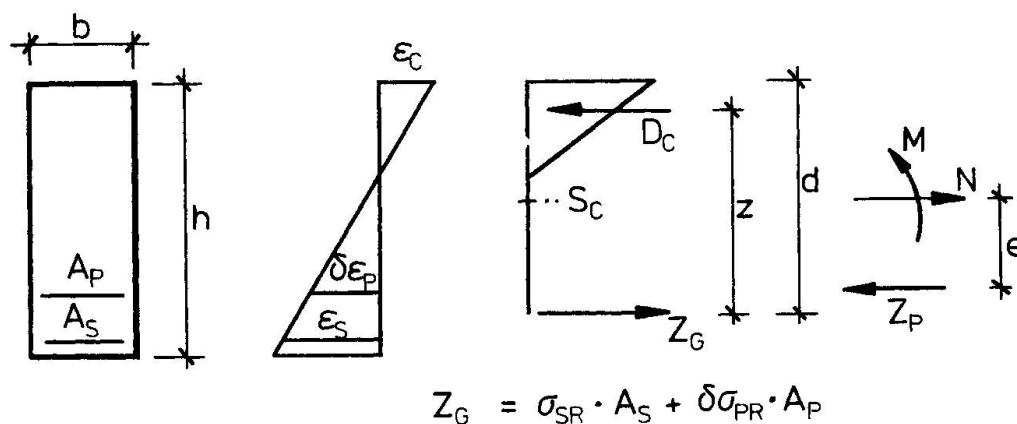


Bild 3 : Ermittlung der Zuggurkraft Z_G am gerissenen Querschnitt

Aus dieser Zugurkraft ergeben sich dann die Spannungen im Betonstabstahl σ_{SR} und der Spannungszuwachs im Spannstahl $\delta\sigma_{PR}$ zu:

$$\sigma_{SR} = \frac{Z_G}{A_S + A_P} + \frac{0.3 \cdot f_{ct} \cdot A_P}{A_S + \zeta_1 \cdot A_P} \cdot \frac{1 - \zeta_1}{A_S + A_P} \cdot A_{b,eff} \quad (1)$$

$$\delta\sigma_{PR} = \frac{Z_G}{A_S + A_P} + \frac{0.3 \cdot f_{ct} \cdot A_S}{A_S + \zeta_1 \cdot A_P} \cdot \frac{\zeta_1 - 1}{A_S + A_P} \cdot A_{b,eff} \quad (2)$$

mit f_{ct} = Betonzugfestigkeit

$$\zeta_1 = \zeta \cdot (d_s / d_p)$$

$$A_{b,eff} = 3 \cdot b \cdot (h - d)$$

d_s = Durchmesser des Betonstahls

d_p = Durchmesser des Spannstahls

(für Spannstahlbündel muß ein Ersatzdurchmesser gewählt werden: $1.6 \sqrt{A_v}$ mit A_v = Fläche des Spannstahlbündels)

$\zeta = 0,2$ für glatte Spannstähle	für Vorspannung
$\zeta = 0,4$ für Litzen	
$\zeta = 0,6$ für profilierte Spannstähle	mit nachträglichem Verbund
$\zeta = 0,6$ für Litzen	
$\zeta = 0,8$ für profilierte Spannstähle	für Vorspannung mit sofortigem Verbund

Bei vollkommen gleichen Verbundeigenschaften von Betonstahl und Spannstahl ($\zeta_1=1$ in Gl. 1 u. 2) erfährt der Spannstahl keine Entlastung. Dies kann in Spanngliedkrümmungen der Fall sein, wenn der Querdruck für hohe Reibungskräfte sorgt.

5. ERMÜDUNGSBEMESSUNG – KONZEPT DES MC 90

Der Vorschlag sieht drei verschiedene Möglichkeiten vor, die im folgenden für den Stahl beschrieben werden. Als Ausgangswert für die Bemessung wird in allen 3 Fällen die unter Gebrauchslasten ermittelte maximale Schwingbreite $\Delta\sigma$ benutzt. Sie ergibt sich aus 0,9 bzw. 1,1 facher Vorspannung (je nach günstiger oder ungünstiger Wirkung der Vorspannung), aus den ständigen Lasten (wirksamer Temperatureinfluß eingeschlossen) und dem ermüdungswirksamen Verkehrslastanteil.

5.1 Dauerfestigkeitsnachweis

Ein detaillierter Ermüdungsnachweis muß nicht geführt werden, wenn folgende Bedingung eingehalten ist:

$$\max \Delta\sigma \cdot \gamma_{sd} < \Delta\sigma_R / \gamma_M$$

wobei: $\max \Delta\sigma$: maximale Schwingbreite der Stahlspannungen unter Gebrauchslasten

$\Delta\sigma_R$: vorgegebene Werte für die Dauerfestigkeit

γ_{sd} , γ_M : Teilsicherheitsbeiwerte für Last bzw. Festigkeit



5.2 Zeitfestigkeitsnachweis

Dieser Nachweis berücksichtigt die angestrebte Lebensdauer und ist dadurch etwas präziser als der Dauerfestigkeitsnachweis. Für die einzelnen Materialien und Verbindungen werden charakteristische Wöhlerlinien vorgegeben, aus denen für eine gegebene Lastwechselzahl n die ertragbare Schwingbreite $\Delta\sigma_R(n)$ ermittelt werden kann. Es ist nachzuweisen daß:

$$\max \Delta\sigma \cdot \gamma_{sd} < \Delta\sigma_R(n) / \gamma_M$$

5.3 Betriebsfestigkeitsnachweis

Der Betriebsfestigkeitsnachweis berücksichtigt neben der angestrebten Lebensdauer auch das tatsächlich einwirkende Lastspektrum. Ausgehend von der Palmgren-Miner Hypothese wird eine Schädigung D ermittelt und mit einem zulässigen Wert verglichen:

$$D = \sum_i \frac{n_{sd,i}}{n_{Rd,i}} < D_{lim}$$

Bei diesem Nachweis wird die Belastung in verschiedene Klassen eingeteilt mit den jeweiligen Lastwechselzahlen $n_{sd,i}$. Aus der Spannungsschwingbreite jeder Klasse ($\Delta\sigma_i$) wird dann über die Wöhlerlinie unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte die zugehörige ertragbare Lastwechselzahl $n_{Rd,i}$ ermittelt.

Es ist jedoch möglich, durch entsprechende Aufbereitung der Daten, Bemessungshilfen zu erstellen, die eine einfache Durchführung des Nachweises erlauben. Für Kranbahnräger ist eine derartige Aufbereitung bereits erfolgt (5), (6), für Straßenbrücken wird sie derzeit im Rahmen eines Forschungsvorhabens an der TH Darmstadt durchgeführt.

LITERATUR

1. CORDES H. und TROST H., Investigation on the fatigue strength of prestressing tendons under the special conditions of partial prestressing. Research Workshop (A.R.W.) on Partial Pre-stressing, Paris 1984.
2. MÜLLER H.H., Prüfverfahren für die Dauerfestigkeit von Spannstählen. Bericht Nr. 1111 vom 2.5.1985, Lehrstuhl für Massivbau, TU München.
3. RIGON C. und THÜRLIMANN B., Fatigue Tests on Posttensioned Concrete Beams. Versuchsbericht Nr. 8101-1, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich.
4. KÖNIG G., Berechnen und gezieltes Begrenzen von Rißbreiten im Stahlbeton und Spannbeton. Vorträge Betontag 1985, Deutscher Betonverein.
5. KÖNIG G. und GERHARDT H.-CHR., Nachweis der Betriebsfestigkeit gemäß DIN 4212 "Kranbahnen aus Stahlbeton und Spannbeton; Berechnung und Ausführung". Beton- und Stahlbetonbau, Heft 1, 1982, S.12-19.
6. GERHARDT H.-CHR., Zur Betriebsfestigkeit im Stahlbeton- und Spannbetonbau. Dissertation, Darmstadt, 1984.